

PEMANFAATAN METIL ESTER JARAK PAGAR MENJADI SURFAKTAN MES UNTUK APLIKASI SEBAGAI *OIL WELL STIMULATION AGENT*

(UTILIZATION OF METHYL ESTER JATROPHA OIL FOR MES SURFACTANT AND IT'S APPLICATION AS OIL WELL STIMULATION AGENTS)

Erliza Hambali^{1*)}, Dadang Rukmana²⁾, Riztiara Nurfitri¹⁾

ABSTRACT

Year by year, globally the production of petroleum decreases but its demand increases. The world will get the energy crisis including Indonesia if that condition happens continuously. Because of that, Indonesia starts to develop IOR (improved oil recovery) method for their oil fields. IOR method is an improvement of the secondary phase in which the oil recovery is expected to increase oil production. One method of IOR is chemical injection with surfactant for injection. Surfactant is dissolved with injection water and injected to reservoir. Generally, surfactant of petroleum sulphonates is used for oil recovery. Due to the weaknesses of petroleum sulphonates such as not resistant in high salinity and high hardness water, therefore it triggers to get surfactant substitute like MES (methyl ester sulphonates) that is synthesized by bio-oil from *Jatropha curcas* L. The study was aimed to know the performance of MES surfactant formula from *jatropha* oil for IOR in fluid sample of oil field and synthetic sandstone core. The best condition from this research was surfactant 0.2 PV with the soaking time of 12 hours. This formula gave the highest of incremental total oil recovery 61%. The number were resulted from 48% waterflooding and 13% surfactant injection.

Keywords: *Jatropha curcas* L., surfactant, methyl ester sulphonates, *improved oil recovery*, *incremental recovery*.

ABSTRAK

Produksi minyak bumi dunia terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun, sementara permintaan terus meningkat. Jika hal tersebut terus terjadi maka dunia akan mengalami krisis energi termasuk Indonesia. Oleh karena itu, Indonesia mulai mengembangkan metode IOR (improved oil recovery) pada lapangan minyaknya. Metode IOR merupakan perbaikan dari fase sekunder dalam rekoveri minyak yang diharapkan mampu meningkatkan produksi minyak. Salah satu metode IOR adalah injeksi bahan kimia dengan injeksi surfaktan. Surfaktan dilarutkan dalam air injeksi dan diinjeksikan ke dalam reservoir. Surfaktan yang umum digunakan adalah petroleum sulfonat yang berasal dari minyak bumi. Kelemahan yang dimiliki surfaktan ini ialah kurang tahan pada salinitas tinggi dan kesadahan tinggi, memicu pencarian alternatif surfaktan pengganti. Salah satu alternatif surfaktan pengganti adalah surfaktan MES (metil ester sulfonat) yang diperoleh dari hasil sintesa minyak nabati yang berasal dari jarak pagar (*Jatropha curcas*). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja formula surfaktan MES dari jarak pagar untuk IOR pada contoh fluida dari lapangan minyak dan core sandstone sintetik. Kondisi proses terbaik pada penelitian ini adalah 0,2 PV formula surfaktan dengan lama perendaman 12 jam yang menghasilkan total incremental recovery minyak 61%. Total perolehan minyak ini dihasilkan dari 48% pada saat waterflooding dan 13% pada saat injeksi surfaktan.

Kata kunci: *Jatropha curcas* L., surfaktan, metil ester sulfonat, *improved oil recovery*, *incremental recovery*.

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan sumber energi yang masih menjadi primadona dan belum tergantikan oleh bahan lain hingga saat ini. Permintaan dunia terhadap minyak bumi diperkirakan akan terus meningkat sedangkan produksi minyak bumi dunia terus menurun dari tahun ke tahun. Jika hal tersebut terus terjadi maka dunia akan mengalami krisis

¹⁾ Pusat Penelitian Surfactant dan Bioenergi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor.

Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Raya Pajajaran No. 1 Bogor

²⁾ Divisi Pengembangan Lapangan, BP MIGAS

* Penulis korespondensi: erliza.h@gmail.com

energi termasuk Indonesia. Krisis energi memacu kenaikan harga minyak bumi.

Faktor utama penyebab penurunan produksi minyak bumi di Indonesia adalah sumur-sumur minyak di Indonesia merupakan ladang minyak tua (*mature field* atau *brown field*) dan belum ditemukannya ladang minyak baru yang memiliki cadangan minyak dalam jumlah besar. Produksi minyak dari *brown field* Indonesia mengalami penurunan sebesar 15% per tahun sehingga perlu dilakukan pengoptimuman *recovery* minyak pada *brown field*. Menurut Willhite *et al.* (1998), banyak cara yang dapat dilakukan dalam meningkatkan *recovery* minyak seperti injeksi air ditambahkan dengan bahan kimia guna meningkatkan energi dorong pada *reservoir* melalui pendesakan minyak di antara batuan sehingga membentuk kondisi yang baik untuk memaksimalkan *recovery* minyak dimana proses tersebut dikenal dengan proses *improved oil recovery (IOR)*.

Metode IOR merupakan perbaikan dari fase sekunder dalam *recovery* minyak yang diharapkan mampu meningkatkan produksi minyak. Salah satu metode IOR yang dilakukan adalah *chemical injection*. *Chemical injection* dapat dilakukan dengan menggunakan surfaktan. Surfaktan dilarutkan dalam air injeksi kemudian diinjeksikan melalui sumur injeksi.

Surfaktan yang umum digunakan adalah petroleum sulfonat. Penggunaan surfaktan ini memiliki beberapa kelemahan yaitu ketahanan buruk terhadap kondisi sadah dan sifat detergensinya menurun dengan sangat tajam pada tingkat salinitas yang tinggi, butuh biaya yang tinggi dan masih harus diimpor. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif surfaktan pengganti seperti surfaktan MES.

Surfaktan MES diperoleh dari hasil sintesis minyak nabati yang salah satunya adalah minyak jarak pagar. Minyak jarak pagar merupakan minyak non-pangan sehingga minyak jarak pagar tidak akan bersinggungan dengan kebutuhan minyak pangan. Menurut Matheson (1996), surfaktan MES memiliki beberapa kelebihan seperti memiliki sifat dispersi yang baik, sifat detergensi yang baik walaupun berada pada air dengan tingkat kesadahan yang tinggi (*hard water*) dan tidak adanya fosfat, daya detergensi sama dengan petroleum sulfonat pada konsentrasi MES yang lebih rendah, dapat mempertahankan aktivitas enzim yang lebih baik serta toleransi yang lebih baik terhadap keberadaan kalsium dan kandungan garam (*disalt*).

Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan surfaktan MES dari jarak pagar untuk IOR. Pengkajian bertujuan untuk mengetahui kinerja

formula surfaktan dari jarak pagar untuk *improved oil recovery* pada contoh fluida dari lapangan minyak dan contoh *core sandstone* sintetik.

METODE PENELITIAN

Bahan baku utama yang digunakan adalah surfaktan MES dari jarak pagar. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah minyak bumi mentah, air injeksi, air formasi, dan *sandstone* sintetik.

Peralatan yang digunakan untuk analisa adalah *spinning drop interfacial tensiometer*, pH meter, *coreflood apparatus*, *densitometer*, *viscosimeter*, oven, *filtration apparatus*, stopwatch, desikator, pipet mohr, ampul, saringan dan kertas membran.

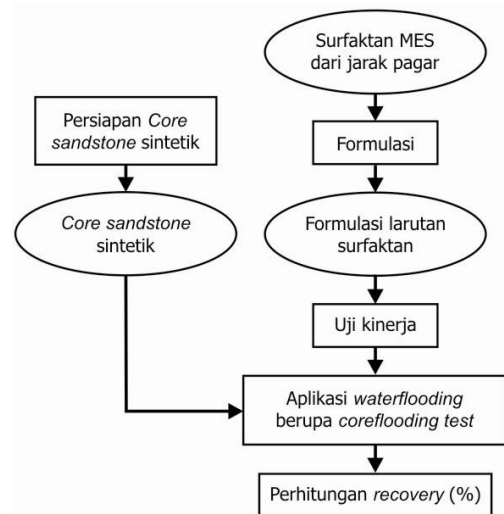
Penelitian ini terdiri atas empat tahap. Tahapan tersebut ialah pembuatan *core sandstone* sintetik, formulasi surfaktan MES dari jarak pagar, uji kinerja formula surfaktan dan *coreflooding test*. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pembuatan *core sandstone* sintetik

Core sandstone sintetik dibuat dengan menggunakan pasir kuarsa dan semen dengan nisbah 5 : 2 dengan tambahan air 10% dari bobot total (pasir kuarsa dan semen).

Formulasi surfaktan MES dari jarak pagar

Surfaktan MES dari jarak pagar diformulasi dengan menggunakan bahan aditif. Formulasi dilakukan dengan menggunakan pelarut, yaitu air injeksi dari Lapangan T. Formulasi yang dilakukan terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu optimal salinitas, alkali optimum dan ko-surfaktan optimum.



Gambar 1 Diagram alir penelitian.

Uji kinerja formula surfaktan

Formula surfaktan yang telah diperoleh selanjutnya diuji kinerja formula tersebut. Uji yang dilakukan meliputi uji IFT (*interfacial tension*), uji kompatibilitas, pengukuran densitas, pengukuran viskositas, pengukuran pH, uji kelakuan fasa, uji ketahanan termal, dan uji filtrasi.

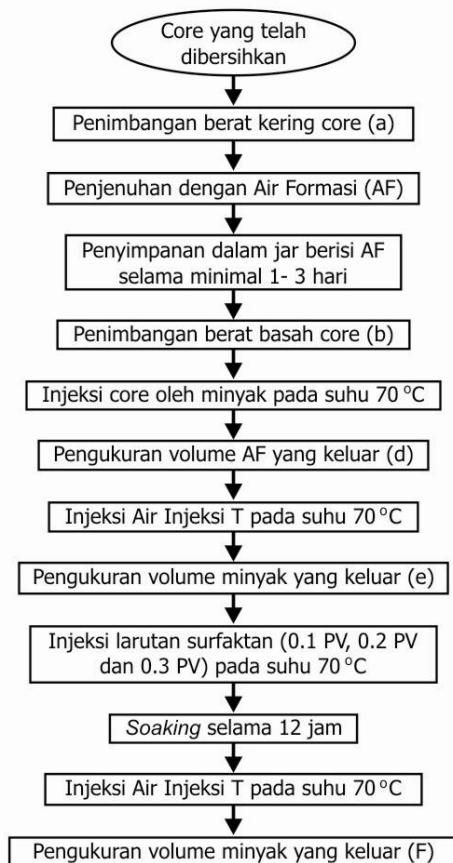
Pengujian Coreflooding

Tahapan terakhir adalah aplikasi formula larutan surfaktan untuk IOR berupa pengujian *coreflood*. Diagram alir pengujian *coreflood* dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat-sifat *core sandstone* sintetik

Core yang digunakan pada penelitian ini merupakan *core* sintetik. *Core* asli berasal dari Lapangan T yang berjenis batuan pasir (*sandstone*) yang tersusun dari sebagian besar pasir kuarsa dengan porositas 20%. Menurut Lange *et. al.* (1991), batu pasir adalah batu-batu yang renggang (*loose*) tapi padat (*compact*) yang terdiri atas fragmen-fragmen yang menyatu dan mengeras (*cemented*).



Gambar 2 Diagram alir *coreflooding test*.

Persiapan *core* sintetik terdiri dari tiga tahap yaitu pembuatan *core* sintetik, pencucian *core* sintetik, dan penjenuhan *core* sintetik. Selain porositas, *core* sintetik juga dihitung nilai permeabilitasnya. Nilai porositas dan nilai permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai permeabilitas. Berdasarkan penelitian Nurwidyanto dan Noviyanti (2005) pada batupasir (study kasus formasi Kerek, Ledok, dan Selorejo), korelasi atau hubungan yang nyata dan bersifat positif antara variabel porositas dan permeabilitas. Hasil yang dimiliki oleh *core* sintetik disebabkan oleh terdapatnya semen yang membentuk interpartikel pada *core* sintetik tidak sepenuhnya berbentuk bola sehingga berdampak pada porositas yang besar tetapi permeabilitas yang kecil.

Porositas beberapa reservoir menurut Koesoemadinata (1978) dikelompokkan menjadi diabaikan (*negligible*) 0–5%, buruk (*poor*) 5–10%, cukup (*fair*) 10–15%, baik (*good*) 15–20%, sangat baik (*very good*) 20–25% dan istimewa (*excellent*) > 25 %. Permeabilitas beberapa reservoir dikelompokkan menjadi ketat (*tight*) <5 mD, cukup (*fair*) 5–10 mD, baik (*good*) 10–100 mD, baik sekali 100–1000 mD dan (*very good*) >1000 mD. Porositas yang dimiliki *core* sintetik termasuk reservoir yang istimewa (> 25%) sedangkan permeabilitas yang dimiliki *core* sintetik termasuk reservoir yang baik (10–100 mD).

Formulas larutan surfaktan

Penelitian ini melakukan 2 tahap formulasi, yaitu optimal salinitas dan alkali. Hal ini dikarenakan alkali optimum saja tidak mampu menurunkan IFT lagi. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan pihak SBRC–IPB diketahui bahwa formula surfaktan dengan konsentrasi surfaktan 0,3% menghasilkan nilai IFT terkecil. Formulasi dilakukan dengan melarutkan surfaktan MES jarak pagar dengan konsentrasi 0,3% dalam Air Injeksi Tx. Pada optimal salinitas, larutan surfaktan 0,3% ditambahkan NaCl (natrium klorida) sedangkan pada optimal alkali, larutan tersebut ditambahkan Na₂CO₃ (natrium

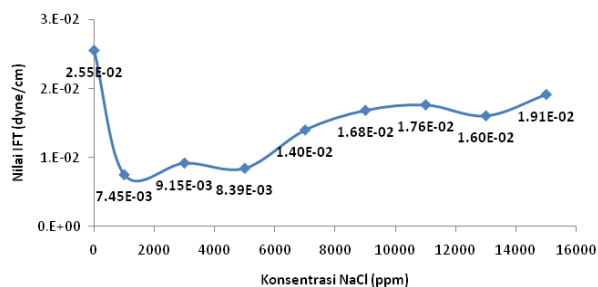
Tabel 1 Porositas dan permeabilitas *core*

Kode <i>core</i>	Porositas (%)	Permeabilitas (mDarcy)
A	33.1034	44.8112
B	35.4648	40.8308
C	33.1273	44.6989
D	32.5419	44.7010
E	34.4336	41.0749
F	33.4326	45.6682

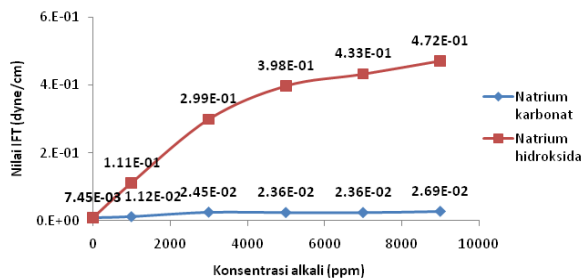
karbonat) atau NaOH (natrium hidroksida). Grafik optimal salinitas dan alkali disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa pada optimal salinitas, nilai IFT menurun setelah larutan surfaktan ditambah NaCl tetapi nilai IFT terus meningkat setelah konsentrasi NaCl diperbesar sedangkan pada optimal alkali, nilai IFT semakin meningkat setelah larutan terpilih pada optimal salinitas ditambah alkali (Na_2CO_3 atau NaOH). Jadi, formula larutan surfaktan yang digunakan pada aplikasi *improved oil recovery* adalah larutan surfaktan yang dihasilkan pada formulasi awal yaitu MES jarak pagar 0,3% pada konsentrasi 1000 ppm NaCl.

Untuk memperoleh nilai IFT, terlebih dahulu dilakukan pengujian densitas. Baik pada tahap optimal salinitas maupun tahap optimal alkali terjadi peningkatan nilai densitas. Peningkatan densitas mengindikasikan terjadinya peningkatan konsentrasi (massa) akibat adanya penambahan senyawa lain. Pada optimal salinitas, penambahan NaCl menyebabkan peningkatan konsentrasi (massa) pada larutan surfaktan. Sama halnya pada optimal alkali, baik penambahan NaOH maupun Na_2SO_3 menyebabkan peningkatan konsentrasi (massa) pada larutan surfaktan. Grafik nilai densitas larutan surfaktan pada tahap optimal salinitas dan pada optimal alkali dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 3 (a) Nilai IFT pada optimal salinitas; (b) Nilai IFT pada optimal alkali.

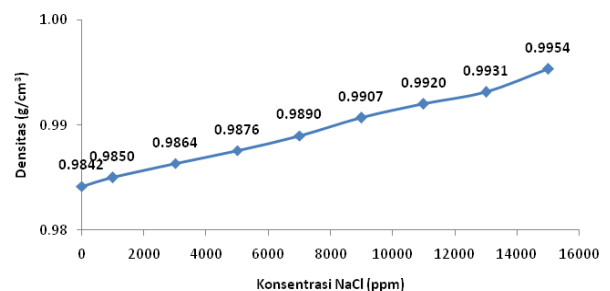
Kompatibilitas

Uji ini bertujuan menentukan kelarutan surfaktan dalam air injeksi. Uji bernilai positif jika surfaktan larut secara sempurna dalam air injeksi sedangkan uji bernilai negatif jika surfaktan tidak larut secara sempurna dalam air injeksi. Pengamatan uji ini dilakukan secara visual selama formulasi. Berdasarkan hasil formulasi diketahui bahwa uji *compatibility* bernilai positif baik pada surfaktan MES jarak pagar terhadap optimal salinitas maupun pada surfaktan MES jarak pagar terhadap optimal alkali. Hasil pengamatan secara visual disajikan pada Gambar 5.

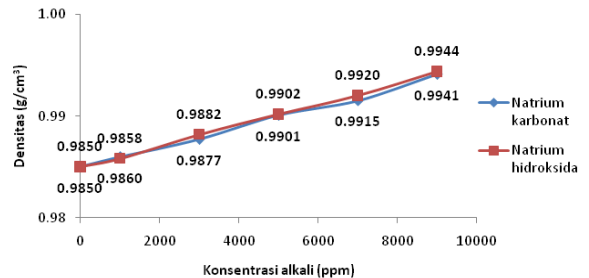
Stabilitas termal

Uji ini bertujuan mengetahui ketahanan larutan surfaktan terhadap pengaruh suhu. Uji dilakukan minimal 1 bulan. Parameter yang harus dipenuhi pada uji ini adalah densitas, IFT, pH dan viskositas. Semua parameter diharapkan tidak berubah secara signifikan. IFT merupakan parameter terpenting dimana nilai IFT tidak akan meningkat secara signifikan seiring lama pemanasan. Grafik hubungan antara IFT dengan lama pemanasan dapat dilihat pada Gambar 6.

Terjadi fluktuasi nilai IFT terhadap lama pemanasan. Seharusnya nilai IFT mengalami peningkatan seiring lama pemanasan karena telah



(a)

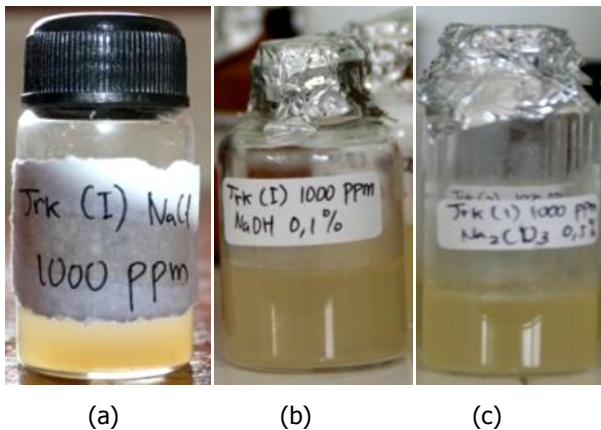


(b)

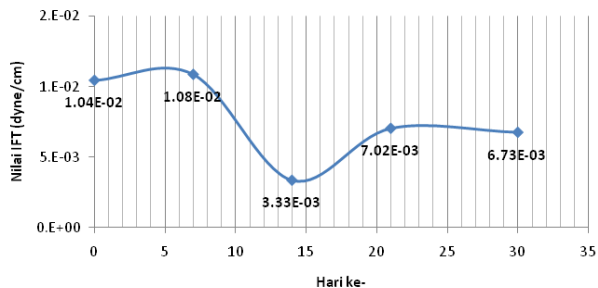
Gambar 4. (a) Nilai IFT pada optimal salinitas; (b) Nilai IFT pada optimal alkali.

terjadi degradasi struktur formula surfaktan. Fluktuasi tersebut dapat terjadi disebabkan pemasukan sampel ke dalam alat pengujian tidak mengalami pengadukan. Sebaiknya sampel mengalami pengadukan sebelum sampel dimasukkan ke dalam alat pengujian. Fluktuasi ini berdampak terhadap nilai densitas. Grafik hubungan antara densitas dengan lama pemanasan dapat dilihat pada Gambar 7.

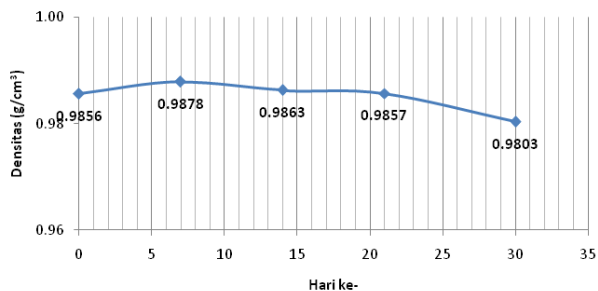
Viskositas menunjukkan tingkat kekentalan suatu fluida dimana semakin tinggi nilai viskositas suatu fluida maka fluida tersebut semakin kental. Grafik hubungan antara viskositas dengan lama pemanasan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 5 (a) Formula dengan NaCl; (b) Formula dengan NaOH; (c) Formula dengan Na_2CO_3 .



Gambar 6 Hubungan antara IFT dengan lama pemanasan.



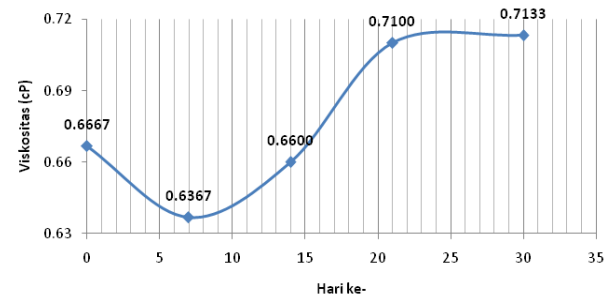
Gambar 7 Hubungan antara densitas dengan lama pemanasan.

Terjadi penurunan dan peningkatan kembali nilai viskositas. Pada hari ke-0, larutan surfaktan dibuat pada suhu ruang kemudian diukur nilai viskositasnya tanpa pemanasan. Larutan tersebut mengalami penurunan nilai viskositas pada hari ke-7 tetapi mengalami peningkatan nilai viskositas secara terus-menerus hingga hari ke-30.

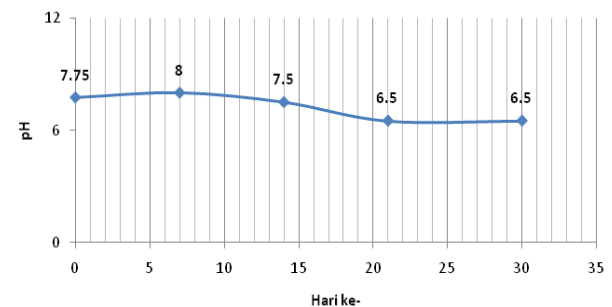
Pada uji ini juga dilakukan pengukuran nilai pH dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu tinggi dengan waktu pemanasan yang lama terhadap tingkat derajat keasaman (pH) larutan surfaktan. Grafik hubungan antara pH dengan lama pemanasan dapat dilihat pada Gambar 9. Terjadi peningkatan derajat keasaman dan penurunan kembali derajat keasaman. Peningkatan nilai pH terjadi pada hari ke-7 sedangkan penurunan nilai pH terjadi dari hari ke-14 hingga hari ke-30. Penurunan nilai pH pada larutan surfaktan menunjukkan telah terjadi peningkatan konsentrasi asam akibat penurunan volume larutan surfaktan. Penurunan volume larutan terjadi karena penguapan air injeksi. Jadi, ketika sampel dikeluarkan dari alat pengujian maka uap air injeksi akan langsung terlepas ke udara bebas.

Kelakuan fasa (*phase behavior*)

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kinerja surfaktan dari terbentuknya fasa antara larutan surfaktan dengan minyak bumi. Secara umum kondisi fasa campuran yang terbentuk dan setelah dilakukan pengamatan secara kasat mata terbagi dalam 4



Gambar 8 Hubungan antara viskositas dengan lama pemanasan.

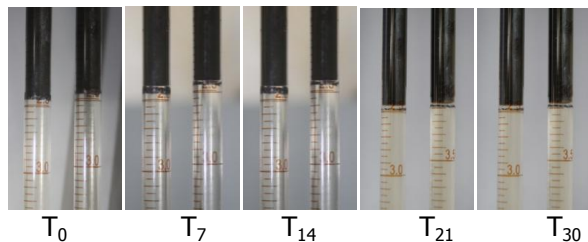


Gambar 9 Grafik hubungan antara pH dengan lama pemanasan.

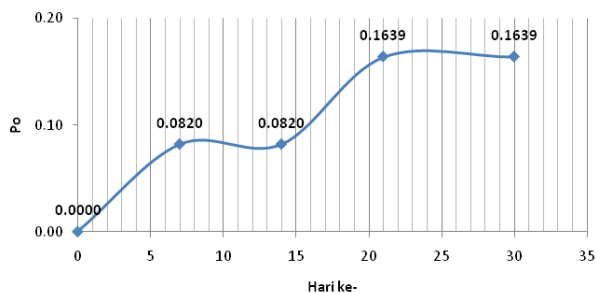
kategori. **Emulsi fasa bawah:** emulsi yang terbentuk dalam fasa air, dalam kondisi dua fasa, berwarna *translucent* (jernih tembus cahaya) pada umumnya terbentuk pada kadar salinitas rendah, dan $V_w/V_s > V_o/V_s$. **Mikroemulsi** atau **emulsi fasa tengah:** emulsi terbentuk di fasa tengah, dalam kondisi tiga fasa (air-mikroemulsi-minyak), berwarna *translucent*, terbentuk pada kadar salinitas optimum, $V_w/V_s = V_o/V_s$. **Emulsi fasa atas:** emulsi yang terbentuk di fasa minyak, dalam kondisi dua fasa, berwarna jernih, pada kadar salinitas tinggi cenderung membentuk emulsi di fasa atas, $V_w/V_s < V_o/V_s$. **Makroemulsi:** emulsi yang terbentuk kental, berwarna putih susu (*milky*), ukuran makroemulsi sangat besar (2000-100.000 Å) (Lemigas, 2002). Uji ini dilakukan selama minimal 1 bulan secara visual. Pengamatan visual emulsi yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 10.

Jenis emulsi yang paling diharapkan dalam proses IOR/injeksi surfaktan adalah emulsi fasa tengah (*phase form III*) atau mikroemulsi atau paling tidak emulsi fasa bawah (Lemigas, 2002). Hal ini dikarenakan pada fasa tersebut menandakan kinerja surfaktan yang baik. Maksud kinerja yang baik adalah pada kondisi tersebut dihasilkan nilai IFT yang sangat rendah sehingga proses pendesakan minyak bumi dapat berjalan secara optimal. Berdasarkan gambar diketahui bahwa fasa yang terbentuk hingga hari ke-30 adalah fasa bawah. Hal ini ditandai dengan terbentuknya emulsi pada fasa air sehingga terjadi *excess water*.

Pada uji ini juga dilihat kelarutan minyak



Gambar 10 Pengamatan *phase behavior*.



Gambar 11 Hubungan antara kelarutan minyak dengan lama pemanasan.

terhadap lama pemanasan. Selama 30 hari pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa kelakuan fasa yang terbentuk adalah fasa bawah. Pada fasa bawah hanya terbentuk dua fasa yaitu fasa air dan fasa minyak sehingga:

$$Po = \frac{Vo - Vo'}{Vs}$$

Keterangan:

Po = Kelarutan minyak

Vo = Volume minyak awal

Vo' = Volume minyak selama pengamatan

Vs = Volume surfaktan

Berikut ini adalah grafik hubungan antara kelarutan minyak (Po) terhadap lama pemanasan:

Filtrasi

Uji ini dilakukan untuk mengetahui keberadaan butiran dalam larutan surfaktan dimana butiran tersebut dapat mengganggu laju alir larutan surfaktan masuk ke dalam *core* sintetik. Uji ini memiliki parameter berupa *filtration rate* (Fr) dimana:

$$Fr = \frac{t_{500} - t_{400}}{t_{200} - t_{100}} < 1.2$$

Keterangan:

t_{100} = Waktu yang dibutuhkan untuk fluida mencapai 100 ml

t_{200} = Waktu yang dibutuhkan untuk fluida mencapai 200 ml

t_{400} = Waktu yang dibutuhkan untuk fluida mencapai 400 ml

t_{500} = Waktu yang dibutuhkan untuk fluida mencapai 500 ml

Nilai Fr pada tiap filtrasi dapat dilihat pada Tabel 2. Secara garis besar nilai Fr larutan surfaktan lebih kecil dibandingkan dengan nilai Fr air injeksi T. Selain itu, nilai Fr larutan surfaktan memenuhi persyaratan larutan surfaktan memiliki kinerja yang baik dimana nilai $Fr < 1,2$ pada saat filtrasi menggunakan saringan 500 mesh dan kertas saring membran 0,22 mikron.

Tabel 2 Nilai Fr pada tiap filtrasi

Filter	Fr	
	Air Injeksi T	Larutan Surfaktan
500 mesh	25.36	0.85
21 mikron	3.17	2.38
0.45 mikron	6.42	3.74
0.22 mikron	0.98	1.09

Coreflood test

Coreflood test merupakan simulasi penginjeksian fluida ke dalam *reservoir* dengan memperhatikan sifat batuan *reservoir* berupa porositas dan permeabilitas batuan. Simulasi bertujuan mengetahui proses pengambilan minyak bumi dengan melakukan pendesakan pada *core* sintetik. Pendesakan dilakukan dengan menggunakan air injeksi dan formula surfaktan.

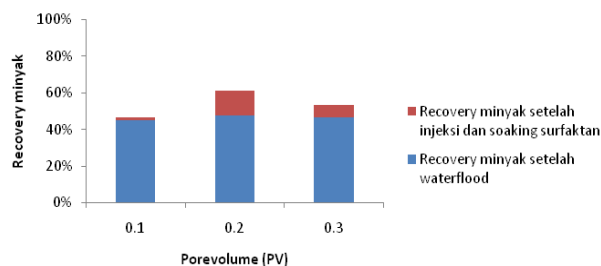
Penginjeksian dilakukan sebanyak 3 kali. Penginjeksian fluida pertama berupa minyak Tx dimana mendorong air formasi Tx yang telah tersaturasi pada *core*. Air formasi Tx yang keluar diukur untuk mengetahui pore volume (PV) yang dimiliki oleh *core*. Penginjeksian fluida kedua berupa air injeksi T yang mendorong minyak Tx yang terkandung pada *core*. Penginjeksian ini berhenti jika tidak ada lagi minyak yang keluar. Selanjutnya, penginjeksian fluida ketiga berupa formula surfaktan dimana surfaktan telah dilarutkan dalam air injeksi. Penginjeksian ini merupakan tahap lanjut dari IOR.

Tabel 3 *Recovery* minyak pada tiap perlakuan

Perlakuan	<i>Recovery</i> minyak setelah <i>waterflood</i>	<i>Recovery</i> minyak setelah injeksi dan <i>soaking</i> surfaktan	Total <i>recovery</i> minyak
0.1 PV	45.09%	1.79%	46.885
0.2 PV	47.73%	13.34%	61.07%
0.3 PV	46.77%	6.46%	53.32%

Tabel 4 Perbedaan porositas dan permeabilitas *core* terhadap *recovery* minyak

Perlakuan	Ulangan	Porositas <i>core</i> (%)	Permeabilitas <i>core</i> (mDarcy)	Total <i>recovery</i> minyak (%)
0.1 PV	1	32.5419	44.7010	50.00
	2	33.1273	44.6989	43.75
0.2 PV	1	35.4648	40.8308	61.54
	2	34.4336	41.0749	60.61
0.3 PV	1	33.4326	45.6682	53.13
	2	33.1034	44.8112	53.33



Gambar 12 Hubungan antara PV dengan *recovery* minyak.

Formula surfaktan yang diinjeksikan sebesar 0,1; 0,2; dan 0,3 PV bertujuan untuk mendapatkan tambahan *recovery* minyak 10–20%. Hasil *recovery* minyak dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 12. *Recovery* minyak yang diperoleh 46,88% sampai 61,07% dengan *recovery* minyak terbesar diproduksi dengan 0,2 PV formula surfaktan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mwangi (2008), kondisi optimal *recovery* minyak dihasilkan oleh 0,2 PV dengan lama perendaman 12 jam. Perbedaan porositas dan permeabilitas *core* terhadap *recovery* minyak disajikan pada Tabel 4.

Hasil analisis statistik menunjukkan adanya pengaruh porevolume (PV) formula surfaktan terhadap *recovery* minyak yang diperoleh. Pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), porevolume formula surfaktan berpengaruh secara signifikan terhadap *recovery* minyak yang diperoleh. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa formula surfaktan 0,2 PV memberikan pengaruh berbeda terhadap *recovery* minyak yang dihasilkan sedangkan formula surfaktan 0,1 PV dan 0,3 PV tidak memberikan pengaruh berbeda terhadap *recovery* minyak yang dihasilkan. Kondisi proses terbaik pada penelitian ini adalah injeksi surfaktan 0,2 PV dengan lama perendaman 12 jam yang menghasilkan total *incremental recovery* minyak 61,07%, terdiri atas *recovery* minyak setelah *waterflood* 47,73% dan *recovery* minyak setelah injeksi surfaktan 13,34%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa surfaktan MES jarak pagar dapat digunakan untuk IOR. Formula surfaktan yang terpilih adalah MES jarak pagar dengan NaCl 1000 ppm pada kondisi optimal salinitas dengan nilai densitas dan nilai IFT berturut-turut adalah 0,9850 g/cm³ dan 7,45 x 10⁻³ dyne/cm. Formula surfaktan memberikan nilai positif terhadap uji *compatibility* yang ditandai dengan surfaktan larut dalam air injeksi secara sempurna. Pada uji filtrasi, formula surfaktan memberikan kinerja yang baik. Formula surfaktan memiliki nilai Fr yang lebih kecil dibandingkan dengan air injeksi T (sebagai blanko) dan nilai Fr yang ditetapkan yaitu <1,2. Pada uji *phase behavior*, formula surfaktan berkinerja baik ditandai dengan terbentuknya fasa bawah hingga hari ke-30 dengan *excess water* sebanyak 1 ml.

Berdasarkan hasil analisis statistik dan uji Duncan pada selang kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) diketahui bahwa porevolume formula surfaktan memberikan pengaruh berbeda terhadap *recovery*

minyak yang dihasilkan. Formula surfaktan 0,2 PV memberikan pengaruh berbeda terhadap *recovery* minyak yang dihasilkan sedangkan formula surfaktan 0,1 PV dan 0,3 PV tidak memberikan pengaruh berbeda terhadap *recovery* minyak yang dihasilkan. Kondisi proses terbaik pada penelitian ini adalah injeksi surfaktan 0,2 PV dengan lama perendaman 12 jam yang menghasilkan total *incremental recovery* minyak 61,07%, terdiri atas *recovery* minyak setelah *waterflood* 47,73% dan *recovery* minyak setelah injeksi surfaktan 13,34%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada (1) Kementerian negara Riset dan teknologi melalui Program Insentif, Peningkatan kapasitas Iptek Sistem Produksi dengan judul penelitian Peningkatan Nilai Tambah Minyak Jarak Pagar Melalui Pemanfaatan Biodiesel Jarak Pagar menjadi Surfaktan MES untuk Aplikasi sebagai Oil Well Stimulation Agent pada Tahun Anggaran 2011; (2) Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, LPPM-IPB; dan (3) PT Mahkota Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Matheson, K. L. 1996. *Surfactant Raw Materials : Classification, Synthesis, and Uses*. In : Soap and Detergents : A Theoretical and Practical Review. Spitz, L. (Ed). AOCS Press, Champaign, Illinois.

Koesoemadinata, R. P. 1978. *Geologi Minyak Bumi*. Penerbit ITB, Bandung.

Lange, O., M. Ivanova. dan N. Lebedeva. 1991. *Geologi Umum*. Gaya Media Pratama, Jakarta.

Lemigas. 2002. *Studi Awal Implementasi Injeksi Kimia di Formasi Talang Akar Struktur Talang Akar Pendopo Lapangan Prabumulih : Penentuan Parameter Batuan, Fluida Reservoir dan Rancangan Fluida Injeksi*. Lemigas, Jakarta.

Mwangi, P. 2008. *An Experimental Study Of Surfactant Enhanced Waterflooding*. [Tesis]. University of Rochester, Texas.

Nurwidyanto, M. I. dan I. Noviyanti. 2005. *Estimasi Hubungan Porositas dan Permeabilitas pada Batupasir (Study Kasus Formasi Kerek, Ledok, Selorejo)*. Penerbit UNDIP, Semarang.

Willhite, D., W. Green dan G. Paul. 1998. *Enhanced Oil Recovery*. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME. Society of Petroleum Engineers.